

**KEHILANGAN KARBON AKIBAT DRAINASE DAN DEGRADASI  
LAHAN GAMBUT TROPIKA DI TRUMON DAN SINGKIL ACEH**  
*(Carbon Loss from Drainaged and Degradation of Tropical Peatland  
in Trumon and Singkil, Aceh)*

**Aswandi<sup>1,2\*</sup>, Ronggo Sadono<sup>3</sup>, Haryono Supriyo<sup>4</sup>, dan Hartono<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Program Doktor Ilmu Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada,  
Jl. Agro No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281.

<sup>2</sup>Balai Penelitian Kehutanan Aek Nauli, Jl. Raya Parapat Km 10,5 Parapat 21174.

<sup>3</sup>Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada,  
Jl. Agro No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281.

<sup>4</sup>Jurusan Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada,  
Jl. Agro No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281.

<sup>5</sup>Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta 55281.

\*Penulis korespondensi. Tel: +628126209444. Email: andiasw@yahoo.com.

Diterima: 29 Oktober 2015

Disetujui: 17 Mei 2016

**Abstrak**

Ekosistem hutan gambut tropika merupakan penyimpan karbon potensial, tetapi konversi lahan dan penebangan tidak lestari menyebabkan ekosistem ini juga menjadi sumber emisi karbon ke atmosfer. Pengaruh perubahan penutupan lahan dan pembangunan drainase terhadap dinamika muka air, penurunan tanah dan kehilangan karbon masih belum banyak diketahui pada tipologi gambut pesisir dengan bentang lahan yang sempit. Penelitian dilaksanakan pada berbagai tipe penutupan lahan gambut di Trumon dan Singkil, Provinsi Aceh mulai Mei 2013 hingga Oktober 2014. Penyimpanan dan kehilangan karbon dihitung berdasarkan bobot isi, kadar abu, karbon organik tanah, dan kedalaman tanah. Hasil penelitian menunjukkan perubahan penutupan lahan dan pembangunan drainase mempengaruhi tata air, penurunan tanah, dan kehilangan karbon sebesar 38,54 – 58,52%. Penurunan permukaan tanah tertinggi sebesar 5,6 cm/tahun terjadi pada lahan dengan bobot isi rendah dan intensitas drainase yang tinggi. Kehilangan karbon dari degradasi lahan gambut melepaskan sekitar 1,352 ton CO<sub>2</sub> eq/ha/tahun.

**Kata kunci:** drainase, gambut tropika, kedalaman muka air, kehilangan karbon, penurunan permukaan tanah.

**Abstract**

*Tropical peat forest is one of significant atmospheric carbon sequester, but land conversion and illegal logging affects carbon stocks and transform these ecosystem into source of carbon emissions. The influence of land use change and drainage on water table fluctuation, soil subsidence and carbon loss are insufficiently known especially on typhology of narrow marine peatland. A study was conducted in Trumon and Singkil, Aceh Province from May 2012 until October 2014 in various peat land use types. Carbon stocks and carbon loss were calculated from data of bulk density, ash and carbon content, and peat depth. Results showed that land use types and distance from drainage influences the level of water table depth, subsidence rate, and carbon loss 38.54 – 58.52%. The highest subsidence rate of 5.6 cm/year occurred on peatlands which low bulk density and highly drainage intensity. Carbon loss from peat degradation released flux 1.352 ton CO<sub>2</sub> eq/ha/year, highly correlated with measured rates of subsidence, depth of water table and bulk density.*

**Keywords:** carbon loss, drainage, subsidence, tropical peat, water table depth.

**PENDAHULUAN**

Lahan gambut merupakan salah satu ekosistem multi fungsi sebagai pelindung fungsi hidrologi, sumber keanekaragaman hayati, pangan dan energi dan pengendali iklim global (Hooijer dkk., 2010; Hirano dkk., 2014). Walaupun luasnya hanya sekitar 3% dari luas permukaan bumi, karbon tersimpan pada ekosistem ini mencapai 75% dari seluruh karbon di atmosfer (Joosten, 2009; Hooijer dkk.,

2010). Dengan luas 10-12% lahan gambut dunia, lahan gambut tropika menyimpan 191 Gt C atau sepertiga karbon yang tersimpan pada lahan gambut (Page dkk., 2002).

Selama dekade terakhir kelestarian fungsi ekosistem hutan gambut telah menjadi perhatian dunia terutama terkait dengan pengurusan hara dan lepasnya gas rumah kaca ke atmosfer (Joosten, 2009; Hooijer dkk., 2010; Hommeltenberg dkk., 2014). Intensitas konversi lahan, penebangan liar dan

kebakaran lahan yang tinggi telah menyebabkan semakin luasnya lahan gambut terdegradasi (Hooijer dkk., 2010; Suwondo dkk., 2011). Hingga tahun 2009, seluas 10,77 juta ha atau 51% luas lahan gambut Indonesia telah mengalami deforestasi dan seluas 2 juta ha rusak selama periode 2000-2009 (Anonim, 2010).

Fenomena serupa juga terjadi pada ekosistem hutan gambut di Trumon dan Singkil Aceh. Sebagian lahan gambut dengan total luas 169.000 ha atau 61,6% lahan gambut di Aceh (Wahyunto dkk., 2005) telah beralih fungsi atau terdegradasi akibat penebangan, kebakaran dan bencana gempa bumi dan tsunami. Dengan tipologi gambut pesisir yang dangkal hingga dalam dan parameter lainnya yang spesifik, perubahan kondisi biofisik yang terjadi perlu dipelajari dalam rangka peningkatan kinerja rehabilitasi dan pengelolaannya secara lestari. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh perubahan penutupan lahan dan pembuatan drainase terhadap dinamika muka air tanah, penurunan permukaan tanah dan kehilangan karbon pada lahan gambut tropika di Trumon dan Singkil Provinsi Aceh.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Lokasi

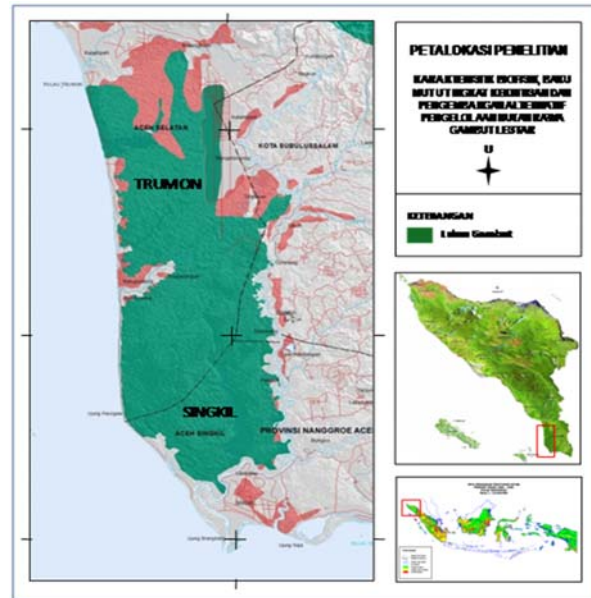
Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2013 hingga Oktober 2014. Pengumpulan data dilakukan pada ekosistem hutan rawa gambut pantai yang terdapat di Trumon dan Singkil Provinsi Aceh seperti disajikan pada Gambar 1. Tipologi ekosistem pada lokasi penelitian mewakili tipologi gambut dangkal hingga sangat dalam.

### Prosedur

Penelitian dilakukan dengan mengukur kedalaman muka air tanah, penurunan permukaan tanah (subsiden), dan ketebalan gambut pada berbagai tipe penutupan lahan yakni hutan sekunder, semak belukar, kebun campuran dan perkebunan sawit. Sebagai pembandingan kondisi gambut yang tidak terganggu, pengukuran juga dilakukan pada lahan gambut primer.

Pengambilan data dilakukan dengan membuat dua jalur transek sepanjang 50 m dengan jarak antar jalur 100 m, dibuat tegak lurus terhadap saluran drainase. Pada interval jarak 3, 10, 25 dan 50 m dari tepi saluran dipasang alat pengamatan kedalaman muka air dan alat ukur subsiden. Pada titik yang sama diambil sampel tanah untuk dihitung bobot isi (*bulk density*) dan kandungan karbon.

Alat ukur kedalaman muka air terbuat dari pipa berdiameter 2,5 inci dengan panjang 200 cm yang telah dilubangi dindingnya. Pipa dibenamkan



**Gambar 1.** Lahan gambut tropika di pantai Aceh.

vertikal ke dalam tanah. Kedalaman muka air tanah diukur sebagai jarak muka air terhadap permukaan tanah. Pengukuran dilakukan setiap dua bulan terutama pada puncak kemarau dan musim hujan. Fluktuasi diukur dari perbedaan muka air terdalam dan terdangkal pada suatu titik pengamatan Laju subsiden diukur dengan menusukkan tongkat besi berskala hingga tanah mineral. Pada batas permukaan tanah ditandai sebagai titik awal pengamatan.

Sampel tanah gambut diambil menggunakan *ring sample* (tinggi 4 cm dan diameter 7,6 cm), sebanyak 1 titik setiap jalur transek dengan interval kedalaman 0-50, 50-100 dan >100 cm. Bobot isi dihitung dengan cara membagi berat tanah gambut kering dengan volumenya ( $\text{g/cm}^3$ ). Kandungan C-organik diukur menggunakan Metode Walkley-Black. Untuk menghitung kehilangan karbon, pengambilan sampel tanah juga dilakukan pada waktu akhir kegiatan (17 bulan). Penentuan tingkat kematangan atau pelapukan gambut didasarkan pada tingkat dekomposisi dari serat yaitu fibrik, hemik dan saprik.

### Analisis Data

Kandungan karbon lahan gambut dihitung berdasarkan luas lahan, ketebalan gambut, bobot isi dan kandungan C-organik dengan persamaan (Wahyunto dkk., 2005):

$$KC = BD \times A \times D \times C \quad (1)$$

Keterangan :

$KC$  = Kandungan karbon (ton)

$BD$  = Bobot isi (*bulk density*) ( $\text{g/cm}^3$  atau  $\text{ton/m}^3$ )

$A$  = Luas tanah gambut ( $\text{m}^2$  atau ha)

$D$  = Ketebalan gambut (m)

$C$  = Kadar karbon (C-organik) dalam persen (%)

Kehilangan karbon dihitung berdasarkan peningkatan kadar abu (Gronlund dkk, 2008; Maswar dkk, 2011). Tingkat kehilangan karbon dihitung dengan rumus:

$$C_{LOSS} = \{(BD_{i+n} \times AC_{i+n} \times VP_{i+n}) - (BD_i \times AC_i \times VP_i)\} / (CAT_i \times \%CT_i) \quad (2)$$

Keterangan :

$C_{LOSS}$  = Karbon hilang (g atau ton/tahun)

$BD_i$  = *Bulk density* kondisi awal (g/cm<sup>3</sup> atau ton/m<sup>3</sup>)

$BD_{i+n}$  = *Bulk density* kondisi akhir (g/cm<sup>3</sup> atau ton/m<sup>3</sup>)

$AC_i$  = Kadar abu pada kondisi awal (%)

$AC_{i+n}$  = Kadar abu pada kondisi akhir (%)

$VP_{i+n}$  = Volume sampel pada kondisi akhir (cm<sup>3</sup> atau m<sup>3</sup>)

$CAT_i$  = Rata-rata kadar abu kondisi awal (%)

$\%CT_i$  = Rata-rata kadar karbon kondisi awal (%)

Konversi kehilangan karbon menjadi nilai emisi gas CO<sub>2</sub> digunakan persamaan (Maswar dkk., 2011) :

$$CO_2 = C_{LOSS} \times 3,67 \quad (3)$$

Keterangan :

$CO_2$  = Jumlah gas CO<sub>2</sub> hasil dekomposisi gambut (g atau ton/tahun)

$C_{LOSS}$  = Berat atau jumlah karbon yang hilang selama proses dekomposisi (g atau ton/tahun)

3,67 = konstanta konversi karbon menjadi bentuk CO<sub>2</sub> (berat atom CO<sub>2</sub>=40 dibagi berat atom C = 12)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan penutupan lahan dan pembuatan drainase mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik biofisik lahan gambut. Karakteristik ketergenangan, bobot isi dan laju dekomposisi yang rendah merupakan ciri khas lahan gambut. Dinamika kedalaman muka air, penurunan permukaan dan hilangnya karbon tersimpan mencirikan terjadinya perubahan lingkungan gambut (Krüger dkk., 2015).

### Dinamika Muka Air Tanah

Hasil pengukuran kedalaman muka air tanah pada berbagai tipe penutupan lahan gambut dan jarak tegak lurus dari tepi saluran drainase disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 2(a). Hasil pengukuran menunjukkan kedalaman maksimum muka air bervariasi menurut tipe penutupan lahan. Rata-rata kedalaman maksimum terdapat pada areal perkebunan sawit sebesar 42 cm, diikuti lahan agroforest dan semak belukar sedalam 36,9 dan 35,5 cm, berturut-turut. Kedalaman muka air tanah pada hutan gambut sekunder dan gambut primer adalah sebesar 37,3 dan 27,4 cm.

Muka air tanah semakin dalam pada lahan-lahan di sekitar saluran drainase. Sebaliknya semakin jauh dari saluran maka muka air tanah semakin dangkal mendekati permukaan tanah. Kedalaman muka air lahan gambut pada berbagai jarak dari saluran drainase disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 2(b).

**Tabel 1.** Kedalaman muka air tanah, tebal gambut dan bobot isi (*bulk density*) pada berbagai tipe penutupan lahan gambut .

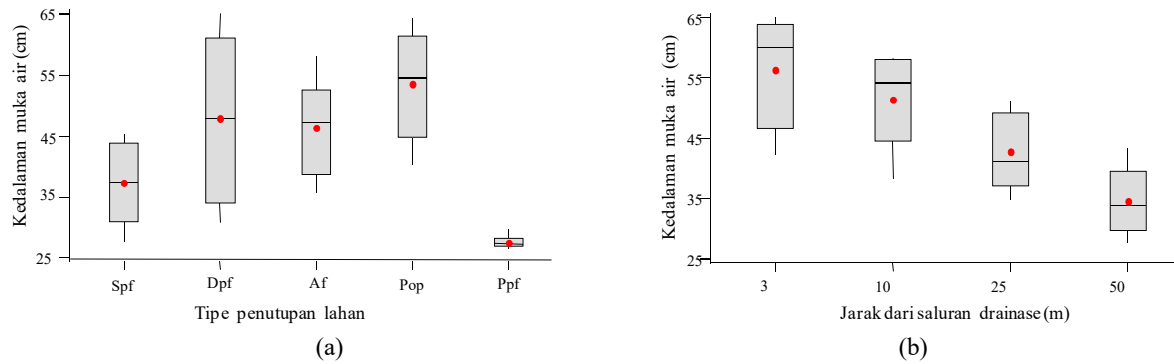
| Tipe penutupan lahan   | Kedalaman muka air tanah |                |                | Tebal gambut (cm) | Bobot isi ( <i>bulk density</i> ) (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------------|--------------------------|----------------|----------------|-------------------|--|
|                        | Maksimum (cm)            | Rata-rata (cm) | Max – Min (cm) |                   |  |
| Gambut sekunder (Spf)  | 37,3 <sup>b</sup>        | 29,2           | 13,3           |                   |  |
| Terbuka/belukar (Dpf)  | 48,1 <sup>bc</sup>       | 35,5           | 24,4           | 247 <sup>ab</sup> | 0,276 <sup>b</sup>                                     |
| Agroforest (Af)        | 48,4 <sup>bc</sup>       | 36,9           | 21,6           | 284 <sup>ab</sup> | 0,206 <sup>b</sup>                                     |
| Perkebunan sawit (Pop) | 53,8 <sup>c</sup>        | 42,0           | 23,7           | 261 <sup>ab</sup> | 0,284 <sup>b</sup>                                     |
| Gambut primer (Ppf)    | 27,4 <sup>a</sup>        | 25,1           | 5,0            | 229 <sup>a</sup>  | 0,273 <sup>b</sup>                                     |

Keterangan : Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 5% menurut LSD. Sumber : Hasil analisis.

**Tabel 2.** Kedalaman muka air tanah, tebal gambut dan bobot isi (*bulk density*) pada berbagai jarak dari saluran.

| Jarak dari saluran (m) | Kedalaman muka air tanah |                |                | Tebal gambut (cm) | Bobot isi (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------------|--------------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------------------|
|                        | Maksimum (cm)            | Rata-rata (cm) | Max – Min (cm) |                   |                                |
| 3                      | 57,0 <sup>b</sup>        | 254            | 28,1           | 254               | 0,250                          |
| 10                     | 52,3 <sup>b</sup>        | 263            | 25,0           | 263               | 0,247                          |
| 25                     | 43,2 <sup>ab</sup>       | 261            | 18,0           | 261               | 0,260                          |
| 50                     | 35,1 <sup>a</sup>        | 244            | 12,0           | 244               | 0,266                          |

Keterangan : Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 5% menurut LSD. Sumber : Hasil analisis.



**Gambar 2.** Kedalaman muka air tanah pada berbagai (a) penutupan lahan gambut dan (b) jarak dari saluran drainase. Keterangan: Ppf = tipe penutupan lahan hutan primer; Spf = tipe penutupan lahan hutan sekunder; Dpf= tipe penutupan lahan semak belukar; Af = tipe penutupan lahan kebun campuran/ agroforest; dan Pop = tipe penutupan lahan perkebunan kelapa sawit.

**Tabel 3.** Persamaan regresi kedalaman muka air tanah, penurunan permukaan tanah, dan kehilangan karbon terhadap jarak lokasi dari saluran drainase dan bobot isi.

| Persamaan  | R <sup>2</sup> (%) | R <sup>2</sup> (adj) | S     |
|--|--------------------|----------------------|-------|
| <b>Kedalaman muka air</b>                                |                    |                      |       |
| $\ln MWT = 4,25 - 0,170 \ln D_{jd}$                      | 56,1               | 54,6                 | 0,164 |
| $MWT = 58,3 - 47,3 BD$                                   | 5,2                | 2,1                  | 10,84 |
| $\ln MWT = 4,05 - 0,166 \ln D_{jd} - 0,139 \ln BD$       | 57,7               | 54,8                 | 1,164 |
| <b>Penurunan permukaan tanah</b>                         |                    |                      |       |
| $\ln S = 1,71 - 0,127 \ln D_{jd}$                        | 29,0               | 26,6                 | 0,217 |
| $S = 7,37 - 12,9 BD$                                     | 37,0               | 34,9                 | 0,908 |
| $\ln S = 0,789 - 0,0109 \ln D_{jd} - 0,627 \ln BD$       | 59,3               | 56,5                 | 0,167 |
| $S = 2,10 + 0,0425 MWT$                                  | 17,1               | 14,4                 | 1,042 |
| <b>Kehilangan karbon</b>                                 |                    |                      |       |
| $\ln C_{LOSS} = 1,45 - 0,60 \ln D_{jd}$                  | 16,5               | 13,7                 | 0,391 |
| $C_{LOSS} = 1,69 + 0,0289 MWT$                           | 5,8                | 2,7                  | 1,292 |
| $\ln C_{LOSS} = 0,49 - 0,141 \ln D_{jd} + 0,237 \ln MWT$ | 18,2               | 12,5                 | 0,393 |
| $dKA = 0,0178 + 2,28 dBD$                                | 32,2               | 29,9                 | 0,015 |
| $C_{LOSS} = - 0,282 + 0,817 S$                           | 49,4               | 47,7                 | 0,948 |

Keterangan:

$MWT$  = kedalaman muka air tanah maksimum (cm)

$D_{jd}$  = jarak dari drainase (m)

$BD$  = Bulk Density ( $g/cm^3$ )

$KA$  = Kadar abu (%)

$S$  = Penurunan permukaan tanah (cm)

$C_{LOSS}$  = kehilangan karbon (g atau ton/tahun).

Lahan-lahan yang berada pada jarak 3 m di sekitar saluran drainase memiliki kedalaman muka air tanah terdalam hingga 57,0 cm dan rata-rata kedalaman 42,1 cm. Sedangkan lahan yang berada pada jarak 50 m dari tepi saluran memiliki muka air terdalam 35,1 cm dengan rata-rata 28,9 cm. Pada jarak ini, kedalaman muka air mendekati muka air terdalam pada hutan gambut primer yakni 27,4 cm. Fluktuasi muka air tanah tertinggi terdapat pada jarak terdekat saluran yakni mencapai 28,1 cm. Semakin jauh dari saluran fluktuasi semakin rendah yakni 12,0 cm. Fluktuasi muka air yang tinggi mencerminkan peningkatan proporsi gambut yang bersifat aerobik dan kehilangan air dari lahan gambut (Dommain dkk., 2010; Maswar dkk., 2011; Moore dkk., 2013).

Hasil pengujian regresi hubungan antara kedalaman muka air tanah maksimum dengan jarak dari saluran drainase memiliki korelasi yang cukup

tinggi ( $r = 0,749$ ) dengan pola persamaan logaritmik (Tabel 3). Pola ini menggambarkan muka air tanah yang semakin dalam pada daerah-daerah di sekitar saluran drainase dan sebaliknya semakin jauh dari saluran maka muka air tanah semakin mendekati permukaan tanah. Hal ini disebabkan pergerakan air pada arah horizontal terhadap saluran drainase lebih cepat dibandingkan pergerakan pada arah vertikalnya, sehingga pola transek kedalaman muka air akan membentuk sudut kemiringan tertentu terhadap muka air pada saluran drainase (Susanne dan Price, 1999; Fraser dkk., 2001; Maswar dkk., 2011). Konsekuensinya, muka air semakin dalam pada musim kemarau sehingga rentan kekeringan dan kebakaran gambut (Schipper dan McLeod, 2002; Moore dkk., 2013). Muka air tanah yang sangat dalam menyebabkan perubahan sifat-sifat fisika, kimia dan biologi gambut (Las dkk., 2009; Dommain dkk., 2010; Lisnawati dkk., 2014).

### Penurunan Permukaan Tanah

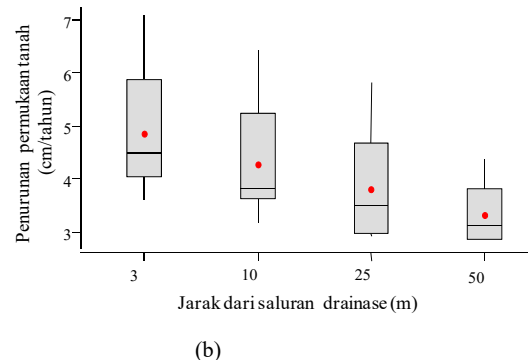
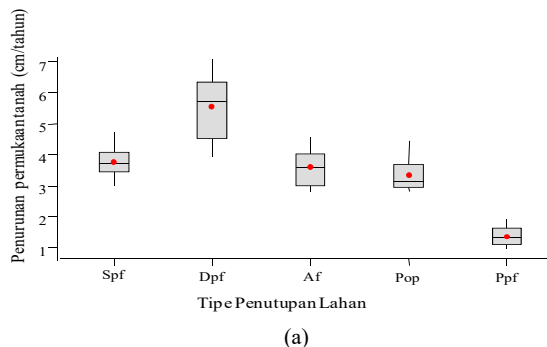
Laju penurunan permukaan tanah bervariasi menurut tipe penutupan lahan sebagaimana disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 3(a). Laju penurunan tertinggi yakni 5,6 cm/tahun terdapat pada lahan terbuka dan ditumbuhi semak belukar, sedangkan laju penurunan terendah terdapat pada hutan gambut primer yakni 1,4 cm/tahun. Hutan sekunder memiliki laju subsiden sebesar 3,8 cm/tahun, sedangkan lahan budidaya seperti kebun campuran/ agroforestry dan perkebunan kelapa sawit menurun permukaan tanahnya sebesar 3,6 dan 3,3 cm setiap tahun.

Penurunan permukaan tanah pada berbagai jarak dari saluran drainase disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 3(b). Laju subsiden tertinggi terdapat pada jarak terdekat dari saluran, sebaliknya semakin jauh dari tepi saluran, penurunan permukaan tanah semakin rendah. Pada jarak 3 m dari saluran,

penurunan permukaan tanah dapat mencapai 4,9 cm/tahun. Laju subsiden menurun hingga 3,3 cm/tahun pada jarak 50 m dari tepi saluran.

Laju subsiden berkorelasi negatif ( $r=-0,538$ ) terhadap jarak drainase, sehingga laju subsiden meningkat apabila mendekati saluran drainase dan sebaliknya. Nilai koefisien determinasi menjadi lebih tinggi ( $R^2=59,3$ ) apabila bobot isi dipertimbangkan dalam pendugaan laju subsiden (Tabel 3). Laju subsiden juga berkorelasi positif terhadap kedalaman muka air, menunjukkan laju subsiden semakin tinggi pada muka air lahan gambut yang semakin dalam.

Pola transek subsiden terhadap saluran drainase sejalan dengan pola transek kedalaman muka air tanah terhadap drainase. Kondisi ini menggambarkan semakin dekat saluran drainase, maka muka air tanah semakin dalam. Muka air yang



**Gambar 3.** Penurunan permukaan tanah gambut pada berbagai (a) tipe penutupan lahan dan (b) jarak dari saluran drainase. Keterangan: Ppf = tipe penutupan lahan hutan primer; Spf = tipe penutupan lahan hutan sekunder; Dpf = tipe penutupan lahan semak belukar; Af = tipe penutupan lahan kebun campuran/ agroforestry; dan Pop = tipe penutupan lahan perkebunan kelapa sawit.

**Tabel 4.** Laju penurunan permukaan tanah, tebal gambut, bobot isi (*bulk density*) dan kedalaman muka air tanah maksimum pada berbagai tipe penutupan lahan gambut.

| Tipe penutupan lahan   | Laju penurunan permukaan tanah (cm/tahun) | Tebal gambut (cm) | Bobot isi (g/cm <sup>3</sup> ) | Kedalaman muka air tanah maksimum (cm) |
|------------------------|---|-------------------|--------------------------------|--|
| Gambut sekunder (Spf)  | 3,8 <sup>b</sup>                          | 247 <sup>ab</sup> | 0,276 <sup>b</sup>             | 37,3 <sup>b</sup>                      |
| Terbuka/belukar (Dpf)  | 5,6 <sup>c</sup>                          | 284 <sup>ab</sup> | 0,209 <sup>b</sup>             | 48,1 <sup>bc</sup>                     |
| Agroforest (Af)        | 3,6 <sup>b</sup>                          | 261 <sup>ab</sup> | 0,284 <sup>b</sup>             | 48,4 <sup>bc</sup>                     |
| Perkebunan sawit (Pop) | 3,3 <sup>b</sup>                          | 229 <sup>a</sup>  | 0,273 <sup>b</sup>             | 53,8 <sup>c</sup>                      |
| Gambut primer (Ppf)    | 1,4 <sup>a</sup>                          | 297 <sup>a</sup>  | 0,246 <sup>a</sup>             | 27,4 <sup>a</sup>                      |

Keterangan : Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 5% menurut LSD.

**Tabel 5.** Laju penurunan permukaan tanah, bobot isi dan kedalaman muka air tanah maksimum pada berbagai jarak dari saluran drainase.

| Jarak dari saluran (m) | Laju penurunan permukaan tanah (cm/tahun) | Bobot isi (g/cm <sup>3</sup> ) | Kedalaman muka air tanah maksimum (cm) |
|------------------------|---|--------------------------------|--|
| 3                      | 4,9 <sup>b</sup>                          | 0,250                          | 57,0 <sup>b</sup>                      |
| 10                     | 4,3 <sup>ab</sup>                         | 0,247                          | 52,3 <sup>b</sup>                      |
| 25                     | 3,8 <sup>ab</sup>                         | 0,260                          | 43,2 <sup>ab</sup>                     |
| 50                     | 3,3 <sup>a</sup>                          | 0,266                          | 35,1 <sup>a</sup>                      |

Keterangan : Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 5% menurut LSD. Sumber : Hasil analisis.

dalam akan meningkatkan bagian gambut yang bersifat aerobik (Maswar dkk., 2011; Nusantara dkk., 2014). Pada kondisi aerob, aktivitas mikroorganisme perombak lebih aktif sehingga proses dekomposisi berjalan lebih cepat. Hal ini akan menyebabkan kehilangan bahan organik menjadi lebih besar (Chimner dan Cooper, 2003; Siegel dkk., 2006; Etik, 2009; Moore dkk., 2013; Lisnawati dkk., 2014; Nusantara dkk., 2014). Selanjut, kondisi aerob juga akan menyebabkan tegangan matrik tanah meningkat sehingga gambut mengalami penyusutan (Susanne dan Price, 1999).

Subsiden berjalan yang lebih cepat pada lahan gambut yang hanya ditumbuhi semak belukar. Pohon-pohon yang memiliki perakaran yang dalam dan lebar dapat menahan penurunan tanah empat kali lebih tinggi dibandingkan lahan gambut yang hanya ditumbuhi semak belukar dengan perakaran dangkal (Dommain dkk., 2010).

### Karbon Tersimpan Pada Lahan Gambut

Hasil perhitungan ketebalan gambut dan cadangan karbon yang tersimpan pada lahan gambut pada tipe penutupan lahan disajikan pada Tabel 6. Kandungan karbon tanah tertinggi pada lahan gambut primer sebesar 3.929 ton/ha, diikuti tipe penutupan agroforest dan hutan gambut sekunder sebesar 3.713 ton/ha dan 3.612 ton/ha. Lahan perkebunan sawit menyimpan karbon sebesar 3.232 ton ha. Kandungan karbon terendah terdapat pada areal semak belukar sebesar 309,84 ton/ha. Kandungan karbon tanah yang tinggi pada lahan

gambut primer berkorelasi positif terhadap ketebalan gambut, bobot isi dan persentase C-organik yang tinggi (Wahyunto dkk., 2005; Lisnawati dkk., 2014). Pada lahan gambut terbuka, kandungan karbon tanah lebih rendah karena memiliki rata-rata bobot isi gambut yang lebih kecil.

### Kehilangan Karbon

Hasil pengukuran kehilangan karbon, emisi CO<sub>2</sub> dan kontribusi kehilangan karbon terhadap subsiden pada berbagai tipe penutupan lahan gambut terdapat pada Tabel 7. Kehilangan karbon terbesar terdapat pada lahan gambut yang hanya ditumbuhi semak belukar sebesar 4,964 ton/ha/tahun dengan kontribusi kehilangan karbon terhadap subsiden sebesar 58,52%. Laju kehilangan karbon pada lahan perkebunan sawit relatif sama dengan lahan agroforest tetapi lebih tinggi dibandingkan hutan gambut sekunder. Apabila laju kehilangan karbon dikonversikan menjadi senyawa CO<sub>2</sub> maka pembangunan drainase mengemisikan 5,96 – 13,52 ton/ha/tahun CO<sub>2</sub> eq ke atmosfer. Tingkat emisi ini lebih rendah dibandingkan rata-rata emisi karbon hutan tropika yang terdegradasi yakni mencapai 65 ton CO<sub>2</sub> eq ha/tahun (Hooijer dkk., 2010).

Kehilangan karbon memiliki korelasi positif terhadap laju subsiden, kedalaman muka air dan berbanding terbalik terhadap jarak dari saluran. Hal ini menjelaskan besarnya kehilangan karbon pada lahan gambut terbuka semak belukar serta memiliki laju subsiden yang lebih tinggi ( $r=0,702$ ) sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Terdapatnya

**Tabel 6.** Karbon tersimpan, tebal gambut, bobot isi (*bulk density*), kadar abu, dan kandungan C-organik pada berbagai tipe penutupan lahan gambut.

| Tipe penutupan lahan   | Karbon tersimpan (ton/ha) | Tebal gambut (cm) | Bobot isi (g/cm <sup>3</sup> ) | Kadar abu (%)     | Kandungan C-organik (%) |
|------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Gambut sekunder (Spf)  | 3.612 <sup>bc</sup>       | 247 <sup>ab</sup> | 0,276 <sup>b</sup>             | 3,87 <sup>a</sup> | 52,98                   |
| Terbuka/belukar (Dpf)  | 3.098 <sup>a</sup>        | 284 <sup>ab</sup> | 0,209 <sup>b</sup>             | 6,72 <sup>b</sup> | 50,20                   |
| Agroforest (Af)        | 3.713 <sup>bc</sup>       | 261 <sup>ab</sup> | 0,284 <sup>b</sup>             | 6,09 <sup>b</sup> | 50,09                   |
| Perkebunan sawit (Pop) | 3.232 <sup>ab</sup>       | 229 <sup>a</sup>  | 0,273 <sup>b</sup>             | 5,35 <sup>b</sup> | 51,69                   |
| Gampur primer (Ppf)    | 3.929 <sup>c</sup>        | 297 <sup>b</sup>  | 0,246 <sup>a</sup>             | 2,40 <sup>a</sup> | 53,78                   |

Keterangan : Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 5% menurut LSD.

**Tabel 7.** Kehilangan karbon, emisi CO<sub>2</sub> dan kontribusi kehilangan karbon terhadap subsiden pada berbagai tipe penutupan lahan gambut.

| Tipe penutupan lahan   | Karbon hilang (ton/ha/thn) | Setara emisi CO <sub>2</sub> (ton/ha/thn) | Kontribusi kehilangan karbon terhadap subsiden (%) |
|------------------------|----------------------------|---|--|
| Gambut sekunder (Spf)  | 18,74 <sup>b</sup>         | 5,96                                      | 38,54  |
| Terbuka/belukar (Dpf)  | 44,99 <sup>d</sup>         | 13,52                                     | 58,52  |
| Agroforest (Af)        | 24,61 <sup>c</sup>         | 6,64                                      | 46,73  |
| Perkebunan sawit (Pop) | 24,79 <sup>c</sup>         | 7,45                                      | 57,26  |
| Gampur primer (Ppf)    | 8,77 <sup>a</sup>          | 2,39                                      | 46,95  |

Keterangan : Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 5% menurut LSD.

korelasi antara peningkatan bobot isi terhadap peningkatan kadar abu ( $r=0,567$ ) menjelaskan kehilangan karbon selama proses pemadatan tanah yang menurunkan level permukaan tanah (Etik, 2009; Moore dkk., 2013; Nusantara dkk., 2014).

### KESIMPULAN

Perubahan penutupan lahan dan pembuatan drainase telah mempengaruhi fungsi hidrologi lahan gambut dan meningkatkan intensitas kehilangan karbon ke atmosfer. Kehilangan karbon terkait erat dengan penurunan permukaan tanah, kedalaman muka air, dan intensitas drainase. Muka air tanah yang lebih dalam dan laju penurunan tanah yang tinggi mempercepat proses dekomposisi dan meningkatkan emisi karbon. Kehilangan karbon dan perubahan kondisi biofisik yang terjadi menunjukkan pentingnya pengaturan muka air pada lahan gambut yang didrainase.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2010. *Keadaan Hutan Indonesia*. Forest Watch Indonesia Global Forest Watch. Bogor.
- Chimner, R.A. dan Cooper, D.J., 2003. Influence of Water Table Position on CO<sub>2</sub> Emissions in A Colorado Subalpine Fen: An In Situ Microcosm Study. *Soil Biology and Biogeochemistry*, 35:345–351.
- Dommain, R., Couwenberg, J. dan Joosten, H., 2010. Hydrological Self-regulation of Domed Peatlands in South-east Asia and Consequences for Conservation and Restoration. *Mires and Peat*, 6(5):1–17.
- Etik, P.H., 2009. Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dan Metan (CH<sub>4</sub>) Pada Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut yang Memiliki Keragaman dalam Ketebalan Gambut dan Umur Tanaman. Disertasi: Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Fraser, C.J.D., Roulet, N.I., dan Lafleur, M., 2001. Groundwater Flow Patterns in A Large Peatland. *Journal of Hydrology*, 246:142–154.
- Gronlund, A., Atle, H., Anders, H. dan Daniel, P.R., 2008. Carbon Loss Estimates from Cultivated Peat Soils in Norway: A Comparison of Three Methods. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 81:157–167.
- Hommeltenberg, J., Schmid, H.P., Drösler, M., dan Werle, P., 2014. Can a Bog Drained for Forestry be a Stronger Carbon Sink than A Natural Bog Forest? *Biogeosciences*, 11:3477–3493.
- Hooijer, A., Page, S., Canadell, J.G., Silvius, M., Kwadijk, J., Wösten, H. dan Jauhiainen, J., 2010. Current and Future CO<sub>2</sub> Emissions from Drained Peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences*, 7:1–10.
- Joosten, H., 2009. *Peatland Status and Drainage Related Emissions in All Countries of the World*. The Global Peatland CO<sub>2</sub> Picture. Wetlands International. [www.wetlands.org](http://www.wetlands.org). 35p.
- Hirano T, Kusin K, Limin S, dan Osaki M., 2014. Carbon Dioxide Emissions Through Oxidative Peat Decomposition on A Burnt Tropical Peatland. *Global Change Biology*, 20(10):555–565.
- Krüger, J.P., Leifeld, J., Glatzel, S., Szidat, S. dan Alewell, C., 2015. Biogeochemical Indicators of Peatland Degradation – A Case Study of A Temperate Bog in Northern Germany. *Biogeosciences*, 12:2861–2871.
- Las, I.K., Nugroho dan Hidayat, A., 2009. Strategi Pemanfaatan Lahan Gambut Untuk Pengembangan Pertanian Berkelanjutan. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. *Jurnal Pengembangan Inovasi Pertanian*, 2(4):295–298.
- Lisnawati, Y., Suprijo, H., Poedjirahajoe, E., dan Musyafa, M., 2014. Hubungan Kedekatan Ekologis Antara Fauna Tanah dengan Karakteristik Tanah Gambut yang Didrainase untuk HTI *Acacia crassiparva*. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(2):170–178.
- Maswar, Haridjaja, O., Sabiham, O., dan van Noordwijk, M., 2011. Cadangan, Kehilangan, dan Akumulasi Karbon pada Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut Tropika. *Journal of Soil and Land Utilization Management*, 8(1):1–10.
- Moore, S., Evans, C.D., Page, S.E., Garnett, M.H., Jones, T.G., Freeman, C. Hooijer, A., Wiltshire, A.J., Limin, S.H., dan Gauci, V., 2013. Deep Instability of Deforested Tropical Peatlands Revealed by Fluvial Organic Carbon Fluxes. *Nature*, 493:660–664.
- Nusantara, R.W., Sudarmadji, S., Djohan, T.S., dan Haryono, E., 2014. Emisi CO<sub>2</sub> Tanah Akibat Alih Fungsi Lahan Huta Rawa Gambut di Kalimantan Barat. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(3):268–276.
- Page, E.S., Siegert, F., Rieley, J.O., Boehm, H.D.V., Jaya, A. dan Limin, S., 2002. The Amount of Carbon Released from Peat and Forest Fires in Indonesia During 1997. *Nature*, 420:61–65.
- Schipper, L.A., dan McLeod, M., 2002. Subsidence Rates and Carbon Loss in Peat Soils Following Conversion to Pasture in the Waikato Region, New Zealand. *Soil Use and Management*, 18(2):91–93.



- Siegel, D.I., Glaser, P.H., So, J., dan Janecky, D.R., 2006. The Dynamic Balance Between Organic Acids and Circumneutral Groundwater in A Large Boreal Peat Basin. *Journal of Hydrology*, 320:421-431.
- Suwondo, Sabiham, S., Sumardjo, dan Pramudya, B., 2011. Efek Pembukaan Lahan terhadap Karakteristik Biofisik Gambut pada Perkebunan Kelapa Sawit di Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Natur Indonesia*, 14(2):143-149.
- Susanne, M.S. dan Price, J.S., 1999. Soil Water Flow Dynamics in Managed Cutover Peat Field, Quebec: Field and Laboratory Investigations. *Water Resouces Research*. 35(12):3675-3683.
- Wahyunto, Ritung, S., dan Subagjo, H., 2005. *Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Sumatra*. Wetland International-Indonesia Program and Wildlife Habitat Canada (WHC). Bogor.